Aus der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universität Marburg
Kommissarischer Leiter: Prof. Dr. med. et Dr. med. dent. H.-J. Hering

Ein Vorschlag zur Verbesserung des Randschlusses von Gusskronen

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde
des Fachbereichs Humanmedizin
der
Philipps-Universität Marburg/Lahn

vorgelegt von

Jürgen Bretthauer
aus Kassel

Marburg/Lahn 1973

Fotodruck: Erich Mauersberger, Marburg

Aus der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universität Marburg

Kommissarischer Leiter: Prof. Dr. med. et Dr. med. dent. H.-J. Hering

Ein Vorschlag zur Verbesserung des Randschlusses von Gusskronen

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde
des Fachbereichs Humanmedizin
der
Philipps-Universität Marburg/Lahn

vorgelegt von

Jürgen Bretthauer
aus Kassel

Marburg/Lahn 1973

Fotodruck: Erich Mauersberger, Marburg

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Angenommen von dem Fachbereich Humanmedizin
der Philipps - Universität Marburg a.d. Lahn
am: 18.9.1973
gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs
Dekan: Prof. Dr. H. Oepen
Referent: Prof. Dr. G. Janke
Correferent: Prof. Dr. H. Schnell

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
A.	Einleitung	
I.	Problemstellung	1
II.	Das Kriterium des exakten Randschlusses	3
III.	Gussgenauigkeit und Haftkraft	7
B.	Theoretischer Teil	
I.	Berechnung der Haftkraft und der elastischen Verformung der Gusskrone	8
II.	Diskussion der Ergebnisse	21
C.	Experimenteller Teil	
I.	Die hohlgelegte Gusskrone	25
II.	Herstellung der hohlgelegten Gusskrone - Vorversuche	28
III.	Messergebnisse	32
D.	Zusammenfassung	43
E.	Literaturverzeichnis	44

A. E I N L E I T U N G

I. Problemstellung

Auf der Tagung der Deutschen Gesellschaft für zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde am 16. und 17. Januar 1971 in Mainz über das Thema „ Der Kronenrand " wurde in verschiedenen Vorträgen die Problematik der Herstellung und Eingliederung von Ersatzkronen aufgezeigt. Dabei standen folgende Fragen im Vordergrund:

1. Was ist unter Passgenauigkeit und exaktem Randschluss zu verstehen?
2. Welche Folgen hat eine fehlerhafte Kronenrandgestaltung vor allem in bezug auf das marginale Parodontium?

In der abschliessenden Diskussion der Tagungsteilnehmer unter der Leitung von EICHNER und VOSS (12) wurden folgende Forderungen aufgestellt:

1. Aufgrund wissenschaftlicher Ueberlegungen ist die Gusskrone der Ringdeckelkrone vorzuziehen. Ringdeckelkronen werden nur besonderen Indikationen vorbehalten.
2. Bei der Präparation des Zahnes soll eine deutliche Präparationsgrenze sichtbar sein. Dabei weist die hohlkehlartige zervikale Präparation die meisten Vorteile auf.
3. Der Randspalt ist dann als exakt anzusehen, wenn er nicht breiter als 50 µm ist.
4. Der Kronenrand soll bis auf Ausnahmefälle innerhalb der physiologischen Zahnfleischfurche liegen.
5. Auch nach der endgültigen Eingliederung von Ersatzkronen ist die Nachkontrolle wichtig. Reizfaktoren sind zu beseitigen, um eine Schädigung des marginalen Parodontiums zu verhindern.

Vergleicht man diese Forderungen mit den statistischen Nachuntersuchungen von FUHR, KARES und SIEBERT (20), HUETTNER (23), YUEZBARIOGLU (50) und E.KOERBER (30), die fehlerhafte Kronen besonders im zervikalen Randbereich zwischen 50% und 70,9% bei GROPP und SCHWINDLING (21) sogar 88%, feststellten, so könnte man zu der Ansicht kommen, dass es sich hier um nicht realisierbare Wunschvorstellungen handelt. Betrachtet man auf der anderen Seite die grosse Zahl der Fehlermöglichkeiten, die bei den einzelnen Arbeitsgängen von der Präparation bis zur Fertigstellung der Gusskrone im Labor auftreten können, so ist die hohe Fehlerquote bei den Nachuntersuchungen zu verstehen.

Es sind bereits viele Vorstösse unternommen worden, um einen grossen Teil der Fehlermöglichkeiten bei der Kronenherstellung auszuschliessen. Hier sei vor allem auf die Arbeiten von DREYER - JOERGENSEN (9) und JANKE (24) verwiesen. Dennoch scheint bisher ein rationelles und sicheres Verfahren zu fehlen. So schrieb VOSS 1966 (44) : „ Bei der Herstellung von Kronen ist dem Verfahren der Vorzug zu geben, das mit grösstmöglicher Sicherheit, auch bei breiter Anwendung, gleichmässige Ergebnisse mit geringer Fehlerbreite liefert. "

Um dies zu erreichen, schlug VOSS vor (44), (45), (46), den randfernen Teil der Krone hohlzulegen. Obwohl ein solches Verfahren häufig von den zahnärztlichen Technikern angewendet wird, indem der Stumpf lackiert oder die Wachsmodellation ausgeschabt wird, liegen meines Wissens bis heute noch keine Untersuchungen über dieses Problem vor.

Bei unseren Ueberlegungen zur Hohllegung der Krone stellte sich eine weitere Frage. Da eine Ersatzkrone, gleichgültig ob sie eine Einzelkrone oder einen Brückenanker darstellt, gewissen axialen und horizontalen Kräften durch den Kauakt ausgesetzt ist, wird gefordert, dass sie genügend Retention am Zahnstumpf besitzt, um nicht gelockert zu werden. Bereits beim Einsetzen ohne Zement soll daher eine Haftung vorhanden sein. Man könnte annehmen, dass eine Krone, die nur im zervikalen Bereich 2 mm bis 3 mm bandförmig dem Zahnstumpf anliegt, diese Forderung nicht erfüllen kann.

Daher wird in dieser Arbeit erstens das Problem der Haftkraft unter dem besonderen Aspekt der hohlgelegten Krone erörtert. Zweitens wird der Nachweis erbracht, dass das Hohllegen der Gusskrone im randfernen Teil von Vorteil ist. Es wird ein Verfahren vorgestellt, das zu gleichmässigen Ergebnissen mit geringer Fehlerbreite führt.

II. Das Kriterium des exakten Randschlusses

Nach VOSS (46) sind an eine Ersatzkrone folgende Forderungen zu stellen:

a) Exakter Randschluss
b) Wiederherstellung der Kontaktpunkte
c) Wiederherstellung von Okklusion und Artikulation
d) Wiederherstellung der anatomischen Form
e) Anlage von Randabweiserwülsten zur Verbesserung der Kontaktpunktverhältnisse
f) Geringer eingestellter Neigungswinkel der Höcker zur Entlastung bei Horizontalschub

Während die Forderungen b) bis f) klinisch im allgemeinen leicht zu überprüfen sind, ist gerade der für die Kariesprophylaxe und wegen parodontologischen Gesichtspunkten so wichtige exakte Randschluss oft schwierig im Munde des Patienten zu kontrollieren. Was ist aber überhaupt unter einem „ exakten " Randschluss zu verstehen?

REHBERG (39) schreibt zu diesem Thema: „ Unter Randschluss wird das enge Anliegen, der möglichst nahtlose Uebergang des Kronenrandes in die angrenzende äussere Schmelz- oder Zementgrenze der Präparation verstanden. "

Unabhängig von den verschiedenen Präparationsarten für den Rand der Krone (Abb. 1) wäre als ideal ein flächenhaftes Anliegen im zervikalen Randbereich anzusehen. Ein solches Anliegen zweier Materialien gibt es aber im technischen Sinne nicht, da selbst „ ebene " Flächen stets noch Rauhigkeiten aufweisen, sie im streng geometrischen Sinn also gar nicht eben sind. Zwei Flächen berühren sich daher im allgemeinen nur in drei Punkten unabhängig von ihrer Grösse.

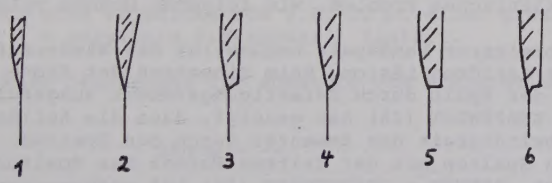


Abb. 1: Unterschiedliche Präparationsarten
1. steil-konisch 2. flach-konisch 3. schräge zirkuläre Stufe 4. Hohlkehlpräparation 5. rechtwinklige zirkuläre Stufe 6. rechtwinklige zirkuläre Stufe mit Federrand („ bevel ")

BOLOURI und MARXKORS (2) haben am präparierten Zahn Rauhtiefen zwischen 4 µm und 40 µm gemessen je nach Glättungszustand mit zahnärztlichen Instrumenten. Die Rauhigkeiten werden zwar beim Guss zum Teil wiedergegeben, aber auch in veränderter Form wie obige Autoren nachgewiesen haben. In Abb. 2b ist dies deutlich zu erkennen.

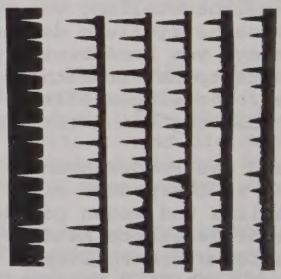


Abb. 2a: Profillinie des Zahnschmelzes, der höchsttourig (Turbine) mit Diamantschleifern beschliffen wurde. Vertikale Vergrösserung 125:1, Ueberhöhung 10:1, Rauhtiefe etwa 40 µm

Abb. 2b: Links: Profillinie des Arbeitsmodells. Rechts: Profillinie verschiedener Güsse. Vertikale Vergrösserung 107:1, Ueberhöhung 10:1

(Nach BOLOURI und MARXKORS (2))

Daher ist verständlich, dass eher von einem Randspalt als von einem Randschluss zu reden ist. Hierbei handelt es sich aber nicht nur um ein technisches sondern vielmehr um ein klinisches Problem, wie folgende Gründe zeigen:

1. Ein breiterer Randspalt begünstigt das Wiederauftreten einer kariösen Läsion. Beim Einsetzen der Krone wird zwar der Spalt durch Befestigungszement ausgefüllt, aber KNAPPWOST (28) hat gezeigt, dass die Auflösungsgeschwindigkeit des Zementes durch den Speichel in engen Spalten mit der dritten Potenz der Spaltbreite steigt. DREYER - JOERGENSEN (10) hat nachgewiesen, dass bei Randspalten kleiner als 50 µm nicht mit dem Auftreten von Sekundärkaries zu rechnen ist. Dieses Mass von 50 µm wird heute von den meisten Autoren als zulässiger Höchstwert der Spaltbreite angesehen. (EINFELDT (16), EICHNER (13), K.H.KOERBER und LENZ (32))

2. Ein abstehender Kronenrand führt häufig zu entzündlichen und degenerativen Veränderungen des angrenzenden marginalen Parodontiums. Dies ist in zahlreichen Veröffentlichungen nachgewiesen worden, wobei einmal der mechanische Reiz und zum anderen die durch Speiseretention sich bildenden Plaques als Ursache anzusehen sind. (EGLI (11), FROEHLICH (18), FUHR, KARES und SIEBERT (20), GROPP und SCHWINDLING (21), HUETTNER (23), KRAFT (35), WAERHAUG (47)).

Es ist also notwendig, den Randspalt als Kriterium für die Güte einer Gusskrone klinisch zu überprüfen. Hier stellt sich jedoch die Frage, wie weit dies kontrollierbar ist.

REHBERG (39) und DREYER - JOERGENSEN (10) haben festgestellt, dass mit dem Auge und der Sonde nur Spalte erkannt werden können, die breiter als 10 µm bis 20 µm sind. So kommt REHBERG (39) zu dem Schluss, dass ein „ exakter Randschluss " vorliegt, wenn bei einer Krone höchstens ein gerade noch nachweisbarer Randspalt von 20 µm Breite vorhanden ist.

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde der Einfluss des Zementes auf die Passgenauigkeit und damit den Randschluss nicht berücksichtigt. Die Verwendung eines Befestigungszementes ist aber notwendig, um einmal den auftretenden Spalt auszufüllen, und zum anderen um der Krone eine erhöhte Retention am Zahnstumpf zu geben.

Für die Dicke der Zementschicht sind massgebend: a) Korngrösse des Zementpulvers, b) Viskosität und c) Präparationsform. Da die heutigen Feinkornzemente eine minimale Korngrösse von ca. 5 µm haben, wäre ein solcher Spalt das beste Ergebnis, welches beim Einzementieren erreichbar ist. JANKE (25) hat bei verschiedenen Zementen Filmdicken von 8 µm bis 17 µm festgestellt. Betrachtet man Abb. 3, so erkennt man jedoch, dass bei der Stufen- oder Hohlkehlpräparation eine Filmdicke von z.B. 10 µm einen grösseren Randspalt (= zervikale Diskrepanz) liefert.

Die zervikale Diskrepanz ist abhängig vom Präparationswinkel:

$$\sin \alpha = \frac{f}{s}$$

$$f = s \cdot \sin \alpha$$

$$s = \frac{f}{\sin \alpha}$$

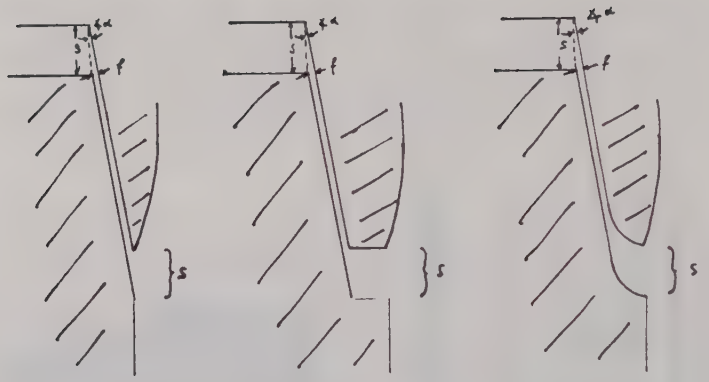


Abb. 3: Einfluss der Filmdicke des Zementes auf die zervikale Diskrepanz bei verschiedenen Präparationsarten
f = Filmdicke des Zementes, s = zervikale Diskrepanz
α = Präparationswinkel

Die zervikale Diskrepanz s ist also umso grösser, je kleiner der Präparationswinkel ist, wie man aus obigen Gleichungen erkennen kann. D.h. bei nahezu paralleler Stumpfpräparation ist die klinische Ungenauigkeit und damit die exponierte Zementschicht am grössten, wie schon DREYER - JOERGENSEN (10) gezeigt hat. DEMMEL (8) hat die zervikale Diskrepanz bei den in Abb. 1 gezeigten Präparationsarten unter Verwendung von Feinkornzementen untersucht und mit Ausnahme der steilkonischen Präparation (ca. 100 μm) Werte unter 50 μm gefunden.

Aus Abb. 3 kann man erkennen, dass zwar die zervikale Diskrepanz bei der auslaufenden Präparation dieselbe ist wie bei der Stufen- oder Hohlkehlpräparation, der eigentliche Randspalt aber der Filmdicke des Zementes entspricht und somit zumindest theoretisch kleiner ist. Die Untersuchungen von DEMMEL (8) haben jedoch keine signifikanten Vorteile der stufenlosen Präparation in bezug auf den Randspalt ergeben. Unter Berücksichtigung der in der Einleitung gestellten Forderungen wird daher die stufenlose auslaufende Präparation nicht weiter berücksichtigt und nur die Präparation mit Stufe oder Hohlkehle betrachtet, auch wenn dies nicht besonders erwähnt wird. Auf die Vorteile der Hohlkehlpräparation wird in Kapitel C I noch näher eingegangen.

III. Gussgenauigkeit und Haftkraft

Berücksichtigt man die oben ausgeführten Betrachtungen, so könnte man folgern, dass der Guss gar nicht genau passen darf, da sonst kein Platz für den Zement wäre. EINFELDT (16) spricht daher von einer „ gesteuerten Ungenauigkeit ", nach welcher der Durchmesser einer Krone um ca. 20 µm bis 30 µm grösser sein muss als der Durchmesser des Stumpfes.

WEIKART (48), (49) betrachtet die Passgenauigkeit unter dem technischen Begriff der Passung. Man unterscheidet Spiel-, Uebergangs- und Presspassung, die sich in ihren Toleranzen um etwa 4 µm bis 10 µm unterscheiden. Bei Versuchen mit Zement kommt auch er zu der Feststellung, dass die Gussgenauigkeit bei einer Spaltbreite von 10 µm bis 25 µm liegt.

Wie kommt es aber dazu, dass die Krone mit einem festen Sitz beim Einprobieren (Presspassung) als besonders exakt und wünschenswert angesehen wird? Die Krone, die ein Uebermass von ca. 20 µm bis 30 µm im Durchmesser besitzt, und daher eine Spielpassung darstellt, müsste nach obigen Feststellungen doch die beste Lösung sein.

Bei dem Begriff der Passung geht man von ideal ebenen Oberflächen aus. Wie schon gesagt wurde, haben Bolouri und Marxkors (2) Rauhtiefen bei der Stumpfpräparation zwischen 4 µm bis 40 µm gefunden. Wenn es möglich ist, dass durch elastische Verformungen beim Aufsetzen der Krone die durch die Rauhigkeiten bedingten Widerstände überwunden werden können, so wird die Kronenwand an einigen Stellen dem Stumpf innig anliegen (Presspassung), während in den übrigen Bereichen ein Spalt vorliegt, der Platz für den Zement lässt. Dieses Anliegen an einigen Punkten stellt dann die Ursache für die Eigenretention bzw. Haftkraft dar. Die Haftkraft bei gleichzeitig nur geringer vorliegender Spaltbreite wäre dann in der Tat ein Kriterium für die Güte der Gusskrone.

Die Möglichkeit der elastischen Verformung der Kronenwand wird in Teil B dieser Arbeit erörtert. Für ein möglichst inniges Anliegen der Gusskrone an den Zahnstumpf spricht noch die Kontraktion des Zementes beim Erhärten. Besonders bei einem dickeren Zementfilm kann es daher leicht zu einer kapillaren Spaltbildung kommen, so dass kein dichter Abschluss durch den Befestigungszement gewährleistet ist (KNAPPWOST (29), BORNEMANN (4)).

B. THEORETISCHER TEIL

I. Berechnung der Haftkraft und der elastischen Verformung der Gusskrone

Wie schon oben gesagt wurde, wollen wir uns auf den Fall der Stufen- bzw. Hohlkehlpräparation beschränken, da es sonst zu Missverständnissen zwischen den Begriffen „ Randspalt " und „ zervikale Diskrepanz " kommen kann. Beim Aufsetzen einer solchen Gusskrone auf ihren Stumpf ohne Verwendung von Befestigungszement können drei mögliche Fälle unterschieden werden:

1. Die Krone lässt sich leicht aufsetzen und wieder entfernen. Sie kann sogar in geringem Masse rotierbar sein. (Spielpassung). Trotzdem ist dabei ein guter Randschluss feststellbar.

2. Die Krone lässt sich nur unter mehr oder weniger Kraftaufwendung aufsetzen und wieder abziehen. Ihr zervikaler Rand schliesst dabei mit der Präparationsgrenze ab. Es liegt ein guter Randschluss vor. (Uebergangspassung bis Presspassung). Die Krone ist nicht rotierbar.

3. Die Krone lässt sich auch bei relativ grosser Kraftaufwendung nicht bis zur Präparationsgrenze auf ihren Stumpf aufsetzen. Schlechter Randschluss. (Presspassung mit zu grosser Toleranz).

Betrachten wir den nach dem bisher Gesagten anzustrebenden zweiten Fall. Welche Ursachen bedingen die notwendige Kraftaufwendung beim Aufsetzen bzw. Abziehen der Krone, und was passiert dabei?

Versucht man einen Körper auf seiner Unterlage zu verschieben so ist ein Reibungswiderstand oder eine Reibungskraft zu überwinden (Abb. 4). Die Ursache für den Reibungswiderstand liegt in den stets vorhandenen, mehr oder weniger ausgeprägten Rauhigkeiten der Körperoberflächen. Selbst bei „ glattem " Zustand bedingt der molekulare oder auch kristalline Aufbau der Körper wenn auch nur mikroskopisch wahrnehmbare Unebenheiten, die beim Berühren ineinander greifen können, und beim Verschieben zu überwinden sind. Ausserdem sind noch molekulare Anziehungskräfte wirksam, die jedoch bei unserem Problem vernachlässigbar klein sind. Der Haftreibungswiderstand wächst in gleichem Masse, wie der Druck des Körpers auf seine Unterlage zunimmt, d.h. proportional zur Normalkraft. Unter der Normalkraft ist die Kraftkomponente zu verstehen, die senkrecht auf die Unterlage wirkt.

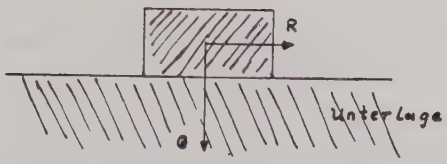


Abb. 4: Ein auf einer waagerechten Unterlage befindlicher Körper mit dem Gewicht G besitzt den Reibungswiderstand $R = f \cdot N$ (N = Normalkraft, f = Reibungskoeffizient)

Wir können also sagen: Die Haftreibung ist bedingt durch die Rauhigkeiten der aufeinanderliegenden Oberflächen und durch die Grösse der Normalkraft.

Bezeichnet man die Haftreibungskraft mit R, die Normalkraft mit N und drückt die Oberflächenbeschaffenheiten durch den Haftreibungskoeffizienten f aus, so erhält man folgende Gleichungen (BERGMANN - SCHAEFER (1)):

$$R \sim N$$

$$R = f \cdot N$$

Die Haftreibungskraft R ist also unabhängig von der Grösse der Berührungsflächen und abhängig von der Normalkraft N.

Dieses paradoxe Ergebnis lässt sich leicht erklären. Da zwei im technischen Sinn ebene Flächen stets noch Rauhigkeiten aufweisen, wie schon oben gesagt wurde, sind sie nicht streng eben im geometrischen Sinn. Sie berühren sich daher im allgemeinen nur in drei Punkten unabhängig von der Grösse der Flächen. Auf diese sehr wichtige Aussage werden wir später noch zurückkommen.

Die obigen Ueberlegungen lassen sich nun auf unser Problem der Retention der Gusskrone übertragen. Auch hier ist die Haftreibungskraft einzig und allein für die Retention verantwortlich, so lange wir den zusätzlichen Faktor des Befestigungszementes ausklammern.

Nach dieser Feststellung und der Definition der Haftreibungskraft ist die Entstehung und Bedeutung der Normalkraft bei der Gusskrone zu erläutern.

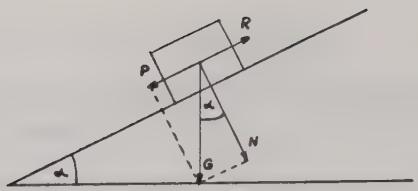


Abb. 5: Haftreibung an der schiefen Ebene

Bei der Stumpfpräparation wird nicht streng parallel sondern unter einem bestimmten Konuswinkel beschliffen. Daher muss hier das Problem der schiefen Ebene betrachtet werden. Liegt ein Körper auf einer horizontalen Unterlage (Abb. 4), so wirkt er einer ihn fortzubewegenden Kraft K mit seinem Gewicht G entgegen. Hier ist also Normalkraft = Gewicht und

$$R = f \cdot G$$

Liegt der Körper jedoch auf einer unter einem Winkel α geneigten schiefen Ebene (Abb. 5), so lässt sich das Gewicht in die beiden Komponenten

$$N = G \cdot \cos \alpha$$

$$\text{und} \quad P = G \cdot \sin \alpha$$

zerlegen, von denen N die Normalkraft des Körpers auf die Bahnebene und P die Kraftkomponente darstellt, die den Körper längs der schiefen Ebene entgegen der Haftreibungskraft R in Bewegung zu versetzen sucht. Vergrössert man den Winkel derart, dass gerade noch keine Bewegung eintritt (Gleichgewichtszustand), d.h. der Körper nicht die schiefe Ebene hinabrutscht, so ist

$$P = R$$

$$\text{oder} \quad R = G \cdot \sin \alpha$$

$$= f \cdot G \cdot \cos \alpha$$

$$\text{und} \quad f = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha$$

Diese Haftreibungskraft des Gleichgewichtszustandes lässt sich als maximale auffassen. Dabei darf der Winkel α nicht grösser werden als ein kritischer Winkel ϱ

$$\alpha \leq \varrho$$

sonst liegt keine Eigenretention des Körpers mehr vor. Die Normalkraft und damit die Haftreibungskraft sind also Funktionen des Präparationswinkels α (= halber Konuswinkel). Für $\alpha = 0°$ ist N maximal (= G), für $\alpha = 90°$ ($\cos 90° = 0$) ist N = 0.

Ueberträgt man obige physikalische Betrachtungen auf das Problem der Eigenretention der Krone (Gewicht ca. 3 p bis 5 p), so fällt auf, dass das Eigengewicht nicht zu einer Haftkraft führen kann, die im allgemeinen zwischen 500 p bis 2000 p liegt, zumal bei einem Präparationswinkel von ca. 6° die Normalkraft nur ein Bruchteil des Gewichtes G ist. Das bedeutet, dass das Gewicht der Krone vernachlässigbar klein ist. Wodurch wird aber dann die Eigenretention erzeugt?

Vereinfacht lässt sich die Gusskrone als Ring mit Deckel ansehen. Wird diese Krone nun mit einer bestimmten Kraft, die wir F_z (Aufsetzkraft des Zahnarztes) nennen wollen, auf den Stumpf gesetzt, und ist das Innenmass der Krone im Toleranzbereich der Uebergangs- oder Presspassung, so wird von jedem Flächenelement der Krone ein Druck auf den Stumpf ausgeübt. Dieser Druck setzt sich bis zu einem gewissen Grad in elastische Verformung sowohl der einzelnen Flächenelemente des Kronenringes als auch der Unterlage um, also des Dentins oder Schmelzes. Durch die Aufsetzkraft wird damit eine Federkraft in den Ring induziert, die dort gespeichert wird und unsere wirksame Normalkraft darstellt (Abb. 6).

Es lässt sich nun leicht einsehen, dass auch für diesen Fall ein kritischer Winkel existiert, bei dem die Krone zu haften beginnt. Die Haftkraft in Abhängigkeit vom Winkel ist für den Fall der Konuskronen - Teleskope bereits von K.H. KOERBER (33), (34) berechnet und auch experimentell bestimmt worden. Nicht betrachtet wurden dabei jedoch die elastischen Verformungen, die im Folgenden berechnet werden. Der Vollständigkeit halber soll die Berechnung der Haftkraft in Anlehnung an die genannte Arbeit kurz skizziert werden.

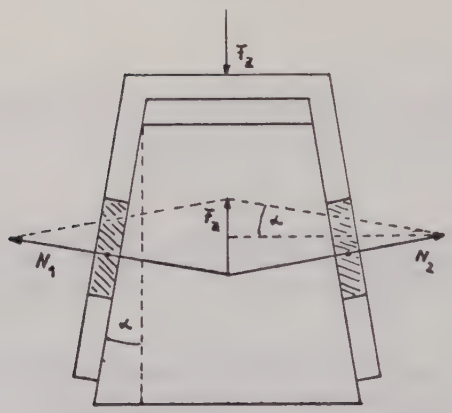


Abb. 6: Durch die Aufsetzkraft F_z, mit der eine Krone auf ihren Stumpf gedrückt wird, entstehen elastische Verformungen in der Kronenwand. Dadurch wird die Aufsetzkraft in Form von Federkraft gespeichert.

Wie bereits am Problem der schiefen Ebene erläutert wurde, ist im Fall des Gleichgewichtes zwischen Haftreibungskraft R und der entgegenwirkenden Kraft P (Abb. 5):

$$R = G \cdot \sin \alpha$$

$$N = G \cdot \cos \alpha$$

Unter der Betrachtung eines Grenzwinkels ϱ mit $\alpha \leq \varrho$ gilt

$$\tan \alpha = \frac{R}{N} \leq \tan \varrho$$

Da $f = \tan \alpha$, folgt für den Fall $\tan \varrho = f$

$$\text{aus} \quad R \leq N \cdot \tan \varrho$$

$$R = f \cdot N$$

Aus Abb. 6 lässt sich erkennen, dass die insgesamt wirksame Normalkraft N sich aus zwei Teilkräften N_1 und N_2 zusammensetzt, wobei wir einen Schnitt durch die Krone betrachten.

$$N = N_1 + N_2$$

Handelt es sich um ein symmetrisches Problem, so ist

$$N_1 = N_2 = N/2$$

Und es gilt weiter

$$\sin \alpha = \frac{F_{Z/2}}{N/2} = \frac{F_Z}{N}$$

Aus $R = f \cdot N$ folgt schliesslich für die Haftreibungskraft in Abhängigkeit vom Winkel

$$R = f \cdot \frac{F_Z}{\sin \alpha}$$

K.H. KOERBER (33),(34) hat nach dieser Gleichung unter Verwendung der Grössen

$f = 0{,}1$ (Gold auf Gold)

$F_Z = 10$ kp (Aufsetzkraft)

für verschiedene Winkel die Haftkraft berechnet und den in Abb. 7 wiedergegebenen Verlauf der Haftkraft - Konuswinkel - Funktion erhalten. In Abb. 8 sind die von K.H. KOERBER experimentell ermittelten Werte zu sehen, die eine erhebliche Abweichung von den errechneten darstellen. Die experimentell bestimmte Kurve liegt um mehr als einen Faktor 10 niedriger als die errechnete. Dies stellt jedoch keinen Widerspruch zur funktionellen Abhängigkeit der Haftkraft vom Konuswinkel dar.

Der Grund für die niedrigeren experimentellen Werte liegt in der Nichtberücksichtigung der elastischen und vor allem unelastischen Verformungen, die beim Aufsetzen der Krone auftreten, wie sich aus den folgenden Berechnungen zeigen wird.

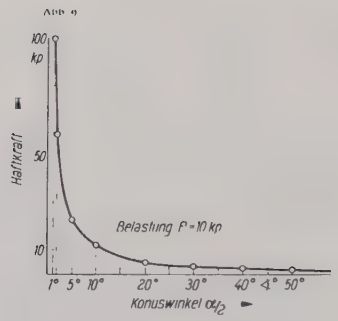


Abb. 7: Errechneter Verlauf der Haftkraft - Konuswinkel - Funktion (Nach K.H. KOERBER (33),(34))

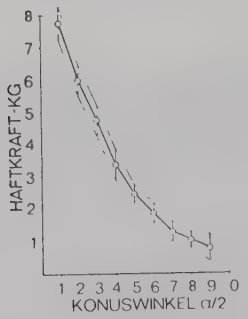
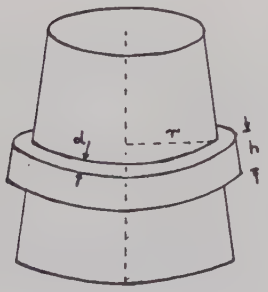


Abb. 8: Experimentell ermittelte Haftkraft - Konuswinkel - Funktion (Nach K.H. KOERBER (33),(34))

Beim Aufsetzen der Krone auf ihren Stumpf erfährt jedes Raumelement des Kronenringes eine dreidimensionale Dehnung. Dabei überwiegt die zirkuläre Dehnung, so dass wir uns zur Vereinfachung der Berechnung auf diese beschränken wollen. Da der Einfluss des Kronendeckels nur in kleinster Umgebung des Uebergangs Deckel - Ring besteht, betrachten wir nur den Ring. Diesen denken wir uns in einzelne Streifen der Höhe h und der Dicke d zerlegt (Abb. 9).



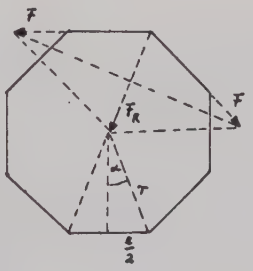


Abb. 9 Abb. 10
(Erklärung siehe Text diese Seite)

Gehen wir aus von einem n-eckigen Stumpf (Abb. 10), um den der Ring mit dem Querschnitt $q = h \cdot d$ liegt, so gilt nach dem Hookeschen Gesetz (BERGMANN-SCHAEFER (1)):

$$F = \frac{\Delta l}{l} \cdot E \cdot q$$

mit l = Länge der einzelnen Kanten
Δl = Längenänderung durch Dehnung
E = Elastizitätsmodul

F ist die Kraftkomponente der Aufsetzkraft F_z, die eine Längenänderung des Ringes um Δl durch Dehnung bewirkt. Durch diese Dehnung und der daraus resultierenden Spannung wird eine radial gerichtete Kraft F_R erzeugt, die den Ring an den Stumpf presst.

Nach Abb. 10 gilt:

$$\sin \alpha = \frac{F_{R/2}}{F}$$

$$= \frac{F_R}{2F}$$

$$\text{und} \quad \sin \alpha = \frac{l}{2r}$$

Daraus folgt:

$$\frac{F_R}{2F} = \frac{l}{2r}$$

$$F_R = F \cdot \frac{l}{r}$$

$$= \frac{\Delta l}{l} \cdot E \cdot q \cdot \frac{1}{r}$$

Führen wir den Druck = $\frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche}}$ ein, so erhält man:

$$P = \frac{F_R}{l \cdot h}$$

$$= \frac{\Delta l}{l} \cdot \frac{E \cdot q}{r \cdot h}$$

Da $\Delta l = \frac{\Delta U}{n}$ mit ΔU = Umfangsänderung
n = Anzahl der Ecken

wird für $n \rightarrow \infty$: $\lim \frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta U}{U}$

$n \rightarrow \infty$ bedeutet den Grenzübergang vom n-Eck zum Kreis. Der Druck, der auf den Stumpf durch den Ring ausgeübt wird, lautet dann:

$$P = \frac{\Delta U}{U} \cdot \frac{E \cdot q}{r \cdot h}$$

Mit $q = h \cdot d$ folgt:

$$P = \frac{\Delta U}{U} \cdot \frac{d}{r} \cdot E$$

Für den Kreisumfang U gilt $U = 2\pi r$. Für den Druck P erhalten wir dann:

$$P = \frac{\Delta U}{2\pi r \cdot r} \cdot d \cdot E$$

oder für die Kraft F_R

$$F_R = \frac{\Delta U}{r} \cdot d \cdot h \cdot E$$

Aus den letzten beiden Gleichungen lässt sich folgende Aussage entnehmen: Der Druck bzw. die Kraft, die durch das Aufsetzen des Ringes auf den Stumpf als Federkraft gespeichert wird, ist abhängig von der zirkulären Dehnung ΔU. Die Federkraft ist jedoch nicht abhängig von der Höhe h des Ringes, was dem Gesetz der Haftreibungskraft entspricht. Von h abhängig ist jedoch die zirkuläre Dehnung. ΔU ist direkt proportional zum Radius r und umgekehrt proportional zur Höhe h des Ringes und zur Wandstärke d. Bei vorgegebener Kraft F_R und dem Elastizitätsmodul E wird die Dehnung umso kleiner je höher der Ring und je dicker die Wand.

Die Kraft F_R wird durch die Aufsetzkraft F_Z induziert. Nach Abb. 6 besteht folgender Zusammenhang:

$$\sin \alpha = \frac{F_Z}{N} \qquad F_Z = N \cdot \sin \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{F_R}{N} \qquad F_R = N \cdot \cos \alpha$$

$$\tan \alpha = \frac{F_Z}{F_R} \qquad F_Z = F_R \cdot \tan \alpha$$

$$F_Z = \tan \alpha \cdot \frac{\Delta U}{r} \cdot d \cdot h \cdot E$$

$$\Delta U = \frac{F_Z}{\tan \alpha} \cdot \frac{r}{d \cdot h \cdot E}$$

Die letzte Gleichung ermöglicht uns, die zirkuläre Dehnung in Abhängigkeit von 1.) der Höhe h
und 2.) der Wandstärke d
zu berechnen. Hierzu nehmen wir folgende Grössen an:

$E = 10\ 000\ kp/mm^2$ (Degulor M)
$r = 4\ mm$
$F_Z = 10\ kp$
$\alpha = 6°$

Für die Wandstärke werden die Werte 0,5 / 1,0 / 1,5 mm und für die Höhe 0,1 / 0,2 / 0,5 / 1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6 / 7 / 8 / 9 / 10 mm verwendet. Die erhaltenen Kurven sind in Abb. 12 und Abb. 13 dargestellt. In Abb. 13 erkennt man, um wieviel eine Gusskrone tiefer auf den Stumpf geschoben werden kann bei entsprechender Dehnung des Ringes. Der Zusammenhang ergibt sich aus Abb. 11 und den folgenden Gleichungen:

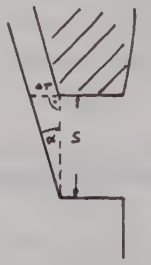


Abb. 11: Beziehung zwischen radialer Dehnung Δr und Ausgleich der zervikalen Ungenauigkeit s

$$U = 2\pi\Delta r$$

$$\tan\alpha = \frac{\Delta r}{s}$$

$$s = \frac{\Delta r}{\tan\alpha}$$

$$s = \frac{\Delta U}{2\pi \cdot \tan\alpha}$$

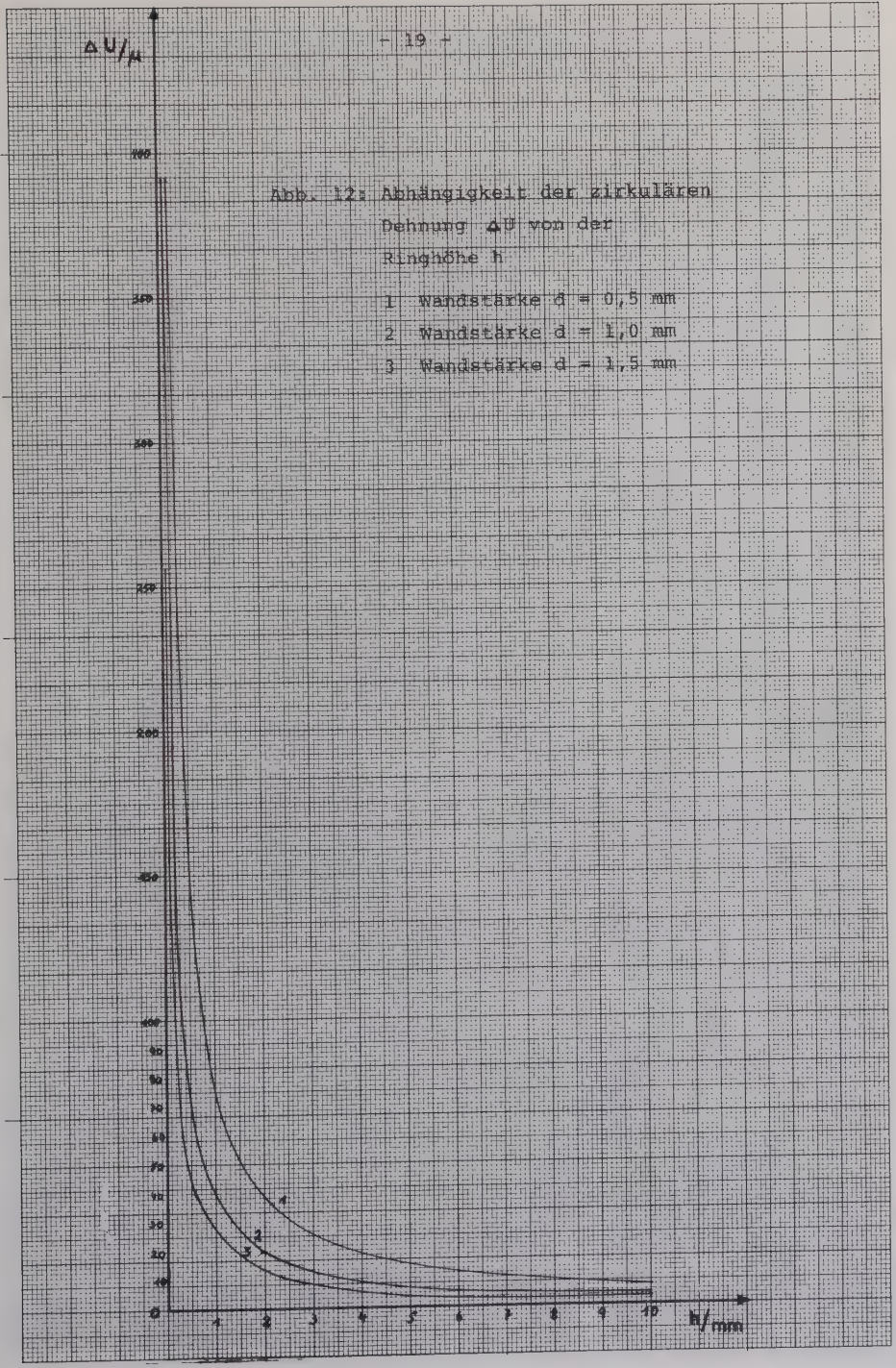


Abb. 12: Abhängigkeit der zirkulären Dehnung $\Delta\ddot{U}$ von der Ringhöhe h

1 Wandstärke d = 0,5 mm

2 Wandstärke d = 1,0 mm

3 Wandstärke d = 1,5 mm

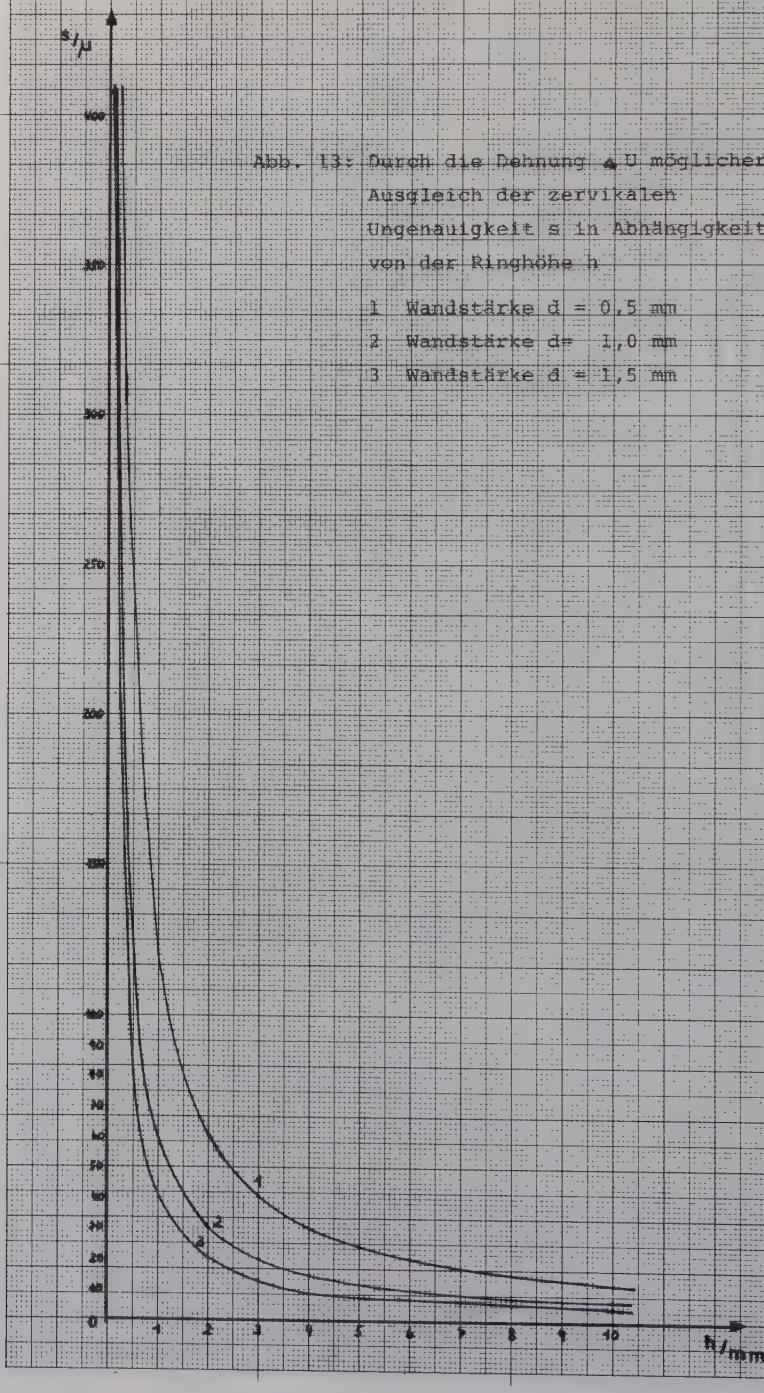


Abb. 13: Durch die Dehnung ΔU möglicher Ausgleich der zervikalen Ungenauigkeit s in Abhängigkeit von der Ringhöhe h

1 Wandstärke d = 0,5 mm
2 Wandstärke d= 1,0 mm
3 Wandstärke d = 1,5 mm

II. Diskussion der Ergebnisse

Die Wandstärke einer Gusskrone beträgt im allgemeinen etwa 1 mm. Betrachten wir die entsprechende Kurve in Abb. 12 und Abb. 13. Bei einer Ringhöhe von mehr als 5 mm ist die zirkuläre Dehnung kleiner als 10μm und der Ausgleich der zervikalen Ungenauigkeit kleiner als 12μm. In dem Bereich von 1 mm bis 3 mm liegen die Werte jedoch zwischen 38μm bis 12μm für die Dehnung und 60μm bis 20μm für den Ausgleich.

Nun könnte man sagen, dass eine dem Stumpf anliegende Wandhöhe von weniger als 3 mm unrealistisch sei, und daher nur ein Ausgleich durch Dehnung von maximal 20μm erreichbar ist. Dem ist entgegenzuhalten, dass Gusskronenwand und Stumpf nicht ideal ebene Flächen haben, wie schon mehrmals betont wurde. Die Rauhigkeiten von bis zu 40μm bedingen einen nur punktweisen Kontakt. Weiter muss berücksichtigt werden, dass bei einer konischen Präparation die Krone erst Kontakt mit dem Stumpf erhält, wenn sie praktisch mit ihrem Rand die Präparationsgrenze erreicht. Wir müssen also davon ausgehen, dass zumindest der erste Kontakt beim Aufsetzen nur aus einzelnen Punkten besteht, d.h. an besonders ausgeprägten Rauhigkeiten auftritt.

Durch die Aufsetzkraft wird nun an diesen Stellen eine Deformation bewirkt. Da die Flächensumme der Primärkontakte kaum grösser als 1 mm^2 sein wird, können die Deformationen in Mikrobereichen recht gross sein. Das kristalline Gitter wird dabei verändert. Dies dauert solange, bis der Kontakt flächenhafter wird und die Aufsetzkraft nicht mehr ausreicht, um eine weitere Dehnung zu erzeugen. Dabei wird sich der Ringumfang effektiv nur je nach Stumpfhöhe bis zu 10μm oder 20μm erweitern, aber die mikroskopischen Veränderungen im Kristallgitter einiger Wandflächenelemente sind wesentlich grösser.

Es ist bekannt, dass nur in einem gewissen kleinen prozentualen Bereich eine Dehnung durchgeführt werden kann, ohne die elastischen Eigenschaften eines Stoffes zu verändern. Ueberschreiten die Deformierungen einen gewissen kritischen Wert, so wird die Spannung nicht mehr elastisch gespeichert, sondern es kommt zu einer Abnahme und irreversiblen Deformierung des Kristallgefüges. Betrachten wir hierzu Abb. 14 (BERGMANN-SCHAEFER (1)).

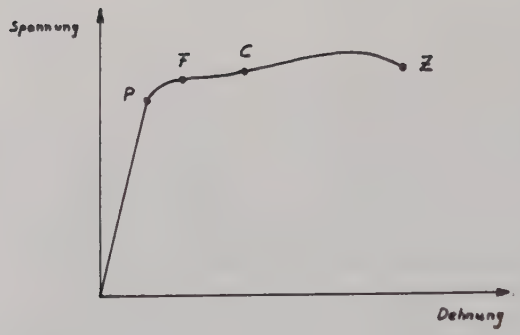


Abb. 14: Spannungs - Dehnungs - Diagramm

Bei der Dehnung eines Metalls weist die Spannungs - Dehnungs - Kurve zunächst einen linearen Verlauf auf bis zur Proportionalitätsgrenze. In diesem Bereich werden die elastischen Kräfte voll gespeichert. Kommt man darüber hinaus, so treten nichtlineare Verformungen auf, die aber noch elastischer Natur sind. Zwischen P und F liegt die sogenannte Elastizitätsgrenze, oberhalb der Deformationen nicht mehr vollständig zurückgehen. Bei zunehmender Dehnung überschreitet man die Fliessgrenze F, der Körper beginnt irreversibel zu „fliessen", d.h. hier tritt eine Umlagerung des Kristallgefüges auf, die bis zu einer amorphen Struktur führen kann. Bei Z (Zerreissgrenze) kommt es schliesslich zum Zerreissen des Metalls.

Abb. 15 zeigt das Spannungs - Dehnungs - Diagramm von Degulor M, welches freundlicherweise von der Degussa - Pforzheim zur Verfügung gestellt wurde. Man sieht, dass die Fliessgrenze von Degulor M bei einer prozentualen Dehnung von 0,2 % liegt. Bei obigen Berechnungen der zirkulären Dehnung ΔU wurde ein Umfang von U = 25 mm angenommen. Hiervon sind 0,2 % : ΔU = 50μm.

Das bedeutet, bei einer Dehnung von mehr als 50μm kommt es zu einer unelastischen Verformung. Die durch die Aufsetzkraft erzeugte Spannung wird nicht mehr voll elastisch gespeichert. Bei einer nur punktförmig wirksamen Dehnung von vielleicht 1 mm Länge sind 0,2 % eine Verformung um 2μm ! Es besteht also nicht die Gefahr, dass die ganze Kronenwand zu „ fliessen " beginnt, aber in kleinen Bereichen der Rauhigkeiten treten diese

Veränderungen auf. Dadurch kommt es zu einem teilweisen Verlust der Federkraft, was die niedrigeren experimentellen Werte von K.H. KOERBER (33), (34) gegenüber den errechneten erklären lässt.

Da es sich bei der Zahnsubstanz ebenfalls um ein elastisch verformbares Material handelt, werden auch hier Deformierungen auftreten, die etwa von der gleichen Grössenordnung sind. Zusammenfassend kann man sagen, dass beim Aufsetzen der Gusskrone auf den Zahnstumpf ein Teil der anfänglichen Rauhigkeiten durch elastische und unelastische Deformation „ eingeebnet " werden. Dadurch kommt es zu einer innigeren und somit flächenhafteren Berührung.

BOLOURI und MARXKORS haben festgestellt (2), dass die Wiedergabe der Profillinien des beschliffenen Zahnstumpfes am Gussobjektes nicht abbildungstreu sind (Abb. 2). Ein Teil der „ Zacken " fehlt. Die beim Guss erhaltenen Zacken sind jedoch eigenartigerweise länger und an der Basis breiter. Nach dem oben Gesagten kommt es vor allem hier zum Primärkontakt Zahnstumpf - Gusskrone und zu Deformationen, die das Ineinandergleiten der Unebenheiten erlauben. Beim Einsetzen der Krone mit Befestigungszement werden die Gussungenauigkeiten, die nicht durch Deformation ausgeglichen sind, durch den Zementfilm ausgefüllt, der im Idealfall bei den Eigenschaften der heutigen Zemente eine Spaltbreite von ca. 5μm bis 10μm ergibt. An einigen Stellen liegt jedoch das Metall direkt dem Zahnstumpf an und zwar umso mehr, je grösser die Verformungen sind.

Degussa - Pforzheim, DE-T / Stämke 5. 4. 1973

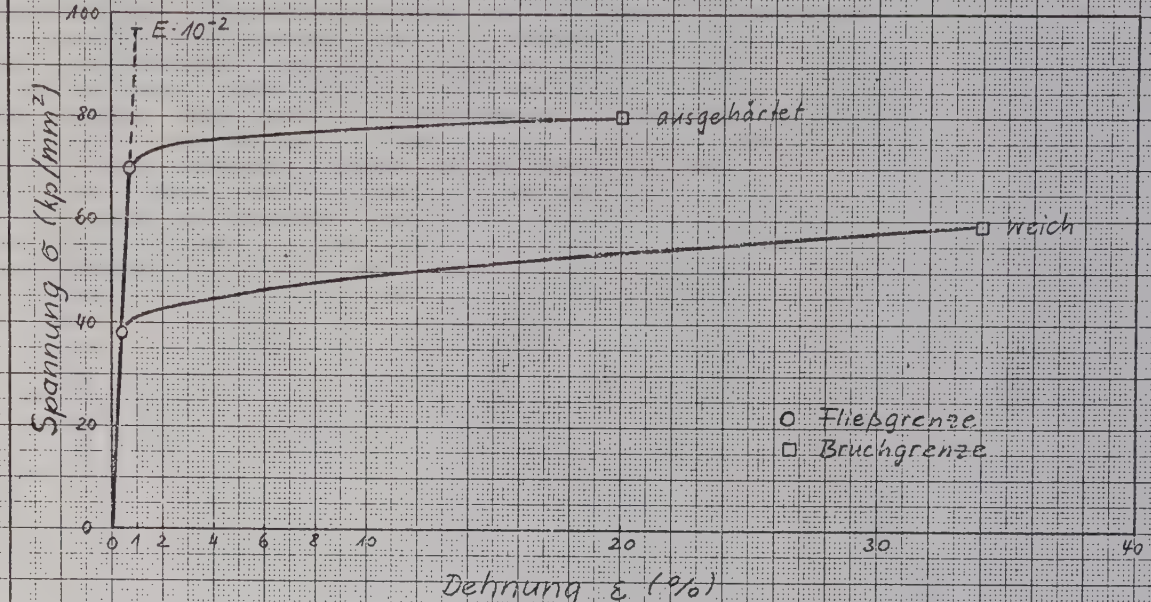


Abb. 15: Spannungs - Dehnungs - Diagramm von Degulor M in verschiedenen Aushärtungszuständen

C. EXPERIMENTELLER TEIL

I. Die hohlgelegte Gusskrone

Nach Abschluss des theoretischen Teils dieser Arbeit, in der Haftkraft und mögliche elastische und unelastische Verformung der Gusskrone berechnet wurden, soll nun an Hand experimenteller Untersuchungen Theorie in Praxis umgesetzt werden.

Wir glauben nicht, das Problem des zahnärztlichen Gusses gelöst zu haben. Das Ziel ist vielmehr, einen Weg zu beschreiben, der gleichmässige Ergebnisse mit geringer Fehlerbreite liefert.

BONSACK (3) hat ein Schema wiedergegeben mit mehr als 60 möglichen Fehlerquellen, die auf dem Weg vom Abdruck bis zum fertigen Gussobjekt auftreten können. Zahlreiche andere Autoren haben über Probleme der Abdruck-, Wachs- und Gusstechnik geschrieben: DREYER - JOERGENSEN (9), EICHNER (14), JANKE (24), KNAPP (27), E. KOERBER und LEHMANN (31), REHBERG (40), SCHMEISSNER (41), WEIKART (49) und ZAEHRINGER (51) um nur einige zu nennen. Auf diese Fragen kann und soll in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen werden.

Bei der Herstellung und Untersuchung der Kronen mussten Stümpfe beschliffen werden. Die Frage war, welcher Präparationsform der Vorzug gegeben werden sollte. Wie schon in der Einleitung angeführt wurde, wird heute überwiegend die hohlkehlartige Präparation des zervikalen Randbereichs als günstigste angesehen. Hierfür sprechen unter anderen folgende Gründe:

1. Gut kontrollierbarer Abdruck

2. Der Zahntechniker erkennt eine exakte Demarkationslinie am Modellstumpf. Eine Uebermodellation ist ausgeschlossen und das häufig durchgeführte Radieren des Modellstumpfes, um die Krone zu verlängern, unnötig.

3. Die Dentin sparende Präparation der „ auslaufenden " Krone führt häufig zu überkonturierten Kronen (CHRISTENSEN (6)).

4. Der Uebergang Gusskrone - Zahnsubstanz kann optimal gestaltet werden, da genügend Platz zur Modellation vorhanden ist.

5. Die Wandstärke des Kronenrandes ist ausreichend dick um Gusskontraktionen und Lunkerbildungen zu verhindern. (JUNG und QUAST (26))

6. Die rechtwinklige Stufe und die Stufe mit Federrand bedeuten ein Abflusshindernis für den Befestigungszement. (PLISCHKA (38), FUCHS und MAYER (14))

7. Durch die gut erkennbare Präparationsgrenze hat der Zahnarzt die Möglichkeit der guten Kontrolle von Randschluss und Passgenauigkeit der Krone beim Einsetzen im Mund des Patienten.

Eine Reihe von Autoren (EISELIN (17), SCHMEISSNER (42) und VEST (43)) halten die Grösse der Reibungsflächen Gusskrone - Zahnstumpf als massgeblich für die Retentionskraft der Krone. Die physikalischen Erörterungen über die Haftkraft im vorigen Kapitel haben gezeigt, dass die Haftkraft nicht von der Grösse der Fläche, sondern nur von der „ Federkraft " und dem Reibungskoeffizienten abhängt. Ein Anliegen der Krone an ihren Stumpf im zervikalen Randbereich in einer Breite von 2 mm bis 3 mm ist daher auf Grund obiger Berechnungen voll ausreichend.

Nach DREYER - JOERGENSEN (9), (10) und K.H.KOERBER (33) ist ein Präparationswinkel von 6° als ideal anzusehen in bezug auf klinische Ungenauigkeit und Retentionskraft. Ein solcher Winkel ist über die gesamte Höhe der Zahnkrone meist nicht zu erreichen, wie auch die Untersuchungen von MARXKORS (37) zeigen. Bei sämtlichen Seitenzähnen verjüngt sich der Durchmesser vom Aequator bis zu den Höckerspitzen um 50 % (Abb. 16). Zumindest bukko - palatinal bzw. bukko - lingual ist daher nur in einer Höhe von etwa 3 mm ein Präparationswinkel von ca. 6° möglich, während der Winkel zu den Höckern etwa 30° bis sogar 45° beträgt, da gleichmässig Substanz abgetragen werden muss.

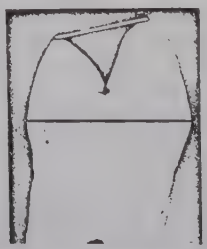


Abb. 16: Relation transversaler Durchmesser - transversaler Höckerabstand (Nach MARXKORS (37))

Fasst man diese Ueberlegungen mit den obigen Ergebnissen zusammen, so sprechen folgende Gründe für ein Hohllegen der Gusskrone:

1. Die Präparation kann der anatomischen Form der Zahnkrone angepasst werden.

2. Die Forderung nach einer präzisen Stumpfpräparation ist nur auf einen zervikalen Randbereich beschränkt. Untersichgehende Stellen lassen sich eher vermeiden.

3. Der Verbrauch an Edelmetall ist geringer.

4. Gusskontraktionen durch unterschiedliche Wandstärken im randfernen Teil der Krone wirken sich nicht auf die Passgenauigkeit aus.

5. Durch elastische Verformung von Edelmetall und Dentin kann die klinische Ungenauigkeit ausgeglichen werden. Diese Verformung ist beim Hohlliegen im randfernen Teil eher möglich. Die Eigenretention der Krone wird dadurch nicht vermindert.

6. Die Wärmeleitung Metall - Zahn wird durch eine etwas dickere Schicht von Befestigungszement verringert. Diese sollte aber nicht dicker als etwa 0,5 mm bis 1 mm sein, da sonst einmal die Festigkeit des Zementes geschwächt wird und zum anderen beim Einsetzen der Krone ein vermehrter Säureüberschuss vorliegt.

II. Herstellung der hohlgelegten Gusskrone - Vorversuche

In einer Reihe von Vorversuchen wurden extrahierte Zähne in der von LUSTIG (36) angegebenen Methode mit dem RCB - Satz der Fa. Brasseler beschliffen (Abb. 17). Der Einfluss von Abdruck und Modellstumpfherstellung wird in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Daher wurden die

Abb. 17: Beschliffene extrahierte Zähne mit Hohlkehle

Kronen direkt auf den beschliffenen Stumpf modelliert. Die Isolation wurde mit Isolit der Fa. Degussa durchgeführt. Eine Reihe von Kronen wurde ohne Hohllegen hergestellt. Das Hohllegen wurde erreicht durch Eintauchen des Stumpfes in flüssig erhitztes Undercut - Wax von Ney (Ney Undercut - Wax, High Fusing For Surveyor Technic, The J. M. Company). Dieses Wachs zeichnete sich durch leichtes Verarbeiten bei relativ hohem Schmelzpunkt aus. Es liess sich gut glätten, in einer sehr dünnen Schicht auftragen und gegen das anschliessend aufzutragende Modellierwachs gut isolieren. Etwa 3 mm blieben zervikal frei bis zur Präparationsgrenze. Hier wurde zunächst das bleitote Gründler - Wachs (Spezialgusswachs nach Gründler, Fa. Dentaurum, Pforzheim) aufgeschwemmt und anschliessend mit normal hartem, blauem Modellierwachs die Krone in möglichst gleichmässiger Wandstärke von 1 mm bis 1,5 mm modelliert durch Aufschwemmen und Glätten. Bei der Behandlung des Wachsmodells, der Einbettung und dem Giessen wurde streng vorgegangen nach den im Degussa - Brief 42 (7) über das Degussa - Präzisionsguss - System angegebenen Richtlinien. Die Einbettung erfolgte mit Deguvest - HFG.

Bei dieser Einbettmasse der Fa. Degussa lässt sich durch Konzentrationsänderung der Anmischflüssigkeit die lineare Gesamtexpansion der Einbettmasse verringern (Abb. 18).

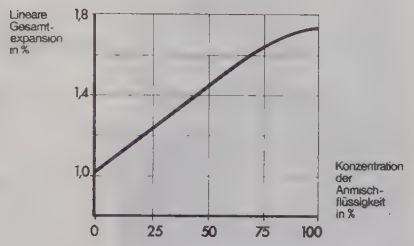


Abb. 18: Steuerbare Gesamtexpansion der Einbettmasse Deguvest - HFG durch unterschiedliche Konzentration der Anmischflüssigkeit (Degussa - Brief 42 (7))

Eingebettet wurde unter Vakuum mit dem Multivac 2, ebenfalls von der Fa. Degussa. Trocken-, Vorwärm- und Schmelzzeiten wurden ebenso streng eingehalten wie die angegebenen Temperaturen. Zum Guss verwendet wurde Degulor M, welches die Fa. Degussa freundlicherweise zur Verfügung stellte. Die Kronen wurden nach dem Guss lediglich von Einbettmasse gereinigt, abgesäuert und ohne weitere Nachbehandlung auf ihre Passgenauigkeit geprüft.

Bei den Vorversuchen an 6 beschliffenen extrahierten Zähnen, wobei 9 hohlgelegte und 9 nicht hohlgelegte Kronen hergestellt wurden, waren Randschluss und Eigenretention der hohlgelegten Kronen auffallend gut, während die anderen in ihren Ergebnissen stark streuten. Die optische Untersuchung des Randspaltes mit einem Messmikroskop der Fa. Leitz, Wetzlar, Messgenauigkeit $\pm$ 0,005 mm, ergab jedoch eine schlechte Darstellung des Spaltes, so dass die Untersuchungen an extrahierten Zähnen nicht fortgeführt wurden.

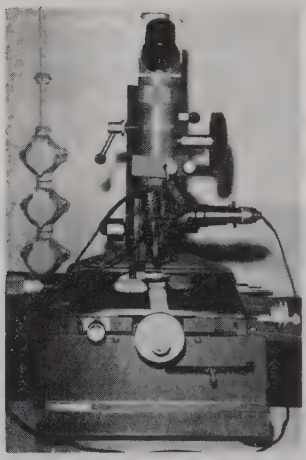


Abb. 19: Zur Messung des Randspaltes verwendetes Messmikroskop der Fa. Leitz, Wetzlar, mit untergelegtem Prüfkörper

Um den Sitz auch innerhalb der Gusskrone prüfen zu können, wurden einige Zähne mit aufgesetzter Krone in Kunststoff (Technovit, Fa. Kulzer, Bad Homburg) eingegossen und Schliffe hergestellt. Ein solcher Schliff ist in Abb. 20 zu sehen.

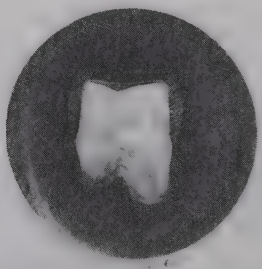


Abb. 20: Schliff einer hohlgelegten Gusskrone auf ihrem Stumpf

Man erkennt deutlich den sehr guten Randschluss und den durch Hohllegen erzeugten Spalt im randfernen Teil der Krone.

Um zu reproduzierbaren Ergebnissen zu gelangen, wurden vier Metallstümpfe mit Hohlkehle aus V_2A - Stahl gedreht mit folgenden Massen (Abb. 21):

Stumpfbezeichnung	Höhe	Durchmesser	Winkel
Ia	10 mm	9,5 mm	6°
Ib	10mm/3,5mm	9,5 mm	6°/15°
IIa	8 mm	8 mm	6°
IIb	8mm/3mm	8 mm	6°/15°

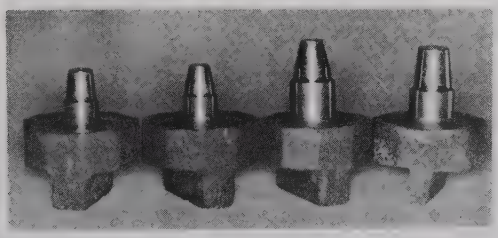


Abb. 21: Metallstümpfe mit Hohlkehle zur Kronenherstellung

Stumpf Ib (IIb) erhielt eine Winkelpräparation von 6° nur in einer zervikalen Breite von 3,5 mm (3 mm). Der randferne Teil wurde durch 15° - Präparation stärker verjüngt, um für das Hohllegen Platz zu schaffen.

Die Kronen für Stumpf Ia und IIa wurden nicht hohlgelegt. Die Stümpfe Ib und IIb wurden mit dem Undercut - Wax im oberen Anteil versehen, um einen Hohlraum zu erzielen. Die übrigen Arbeitsgänge sind mit den obigen identisch. Auf den Metallstümpfen wurden insgesamt 35 Kronen hergestellt. Zur optischen Vermessung erhielten die Stümpfe einen 10-eckigen Kunststoffsockel, so dass an 10 stets gleichen Stellen gemessen werden konnte. Die so erhaltenen 10 Spaltbreiten wurden gemittelt und graphisch dargestellt.

III. Messergebnisse

Die Tabellen 1 bis 7 geben die Messergebnisse der Spaltbreiten wieder. In den darunter befindlichen Abbildungen sieht man die entsprechenden Stümpfe mit aufgesetzter Krone.

Die Konzentration der Anmischflüssigkeit wurde geändert, wenn die Spaltbreiten bei der ersten Serie zu gross waren (Stumpf Ia und IIa: Aenderung von 75 % auf 100 %), oder die Retention zu gering (Stumpf IIb: Aenderung von 50 % auf 25 %).

In dem Säulendiagramm sind die mittleren Spaltbreiten der einzelnen Kronen aufgetragen. Man erkennt deutlich, dass die Ergebnisse bei den hohlgelegten Kronen nicht nur alle unter der maximalen Grenze von 50 µm liegen, sondern auch gleichmässiger sind. Die grossen Spaltbreiten bei Stumpf Ia sind wegen der Grösse des Stumpfes und der sich daraus ergebenden starken Gusskontraktion zu erklären. Kennzeichnend ist aber, dass die hierzu entsprechenden hohlgelegten Kronen (Stumpf Ib) als gut zu bezeichnen sind.

Neben den Messungen der Spaltbreite sollte auch die Haftkraft ermittelt werden. Leider ergab sich nur die Möglichkeit, im Forschungslabor der Fa. Degussa in Pforzheim an einer Zerreissmaschine diese Untersuchungen durchzuführen, die im unteren Messbereich eine nicht ausreichende Genauigkeit besass. Die in Tabelle 8 aufgeführten Werte sind daher bereits gemittelt und haben nur in so weit einen Aussagewert, als sie eine Vergleichsmöglichkeit zwischen hohlgelegten und nicht hohlgelegten Kronen bieten. Man erkennt, dass durch das Hohllegen die Haftkraft nicht wesentlich verringert wurde. Als Aufsetzkraft wurde bei allen Messungen 10 kp verwendet. Die hohlgelegten Kronen zu Stumpf IIb mit einer Konzentration der Anmischflüssigkeit von 50 % waren als zu locker anzusehen, daher wurde die Konzentration auf 25 % verringert.

Bei den in Vorversuchen hergestellten Kronen an extrahierten Zähnen ergab sich, dass die hohlgelegten Kronen alle grössere Retention besassen als die nicht hohlgelegten. Eine dieser Kronen wies bei sehr gutem Randschluss eine Haftkraft von sogar 3,6 kp auf.

Berücksichtigt man, dass die Kräfte bei Kauvorgängen im parodontal gesunden Gebiss normal etwa 2 kp bis 3,5 kp betragen (EICHNER (15)), und die Retention der Krone durch den Befestigungszement wesentlich erhöht wird (BUETTNER (5), HATTEMER (22)), so dürfte eine Eigenretention ohne Zement von 0,8 kp bis 1,5 kp ausreichen. Solche Werte sind bei hohlgelegten Kronen ohne weiteres zu erreichen. Wichtig ist dabei jedoch, dass die Gesamtexpansion der Einbettmasse gesteuert werden kann. Dies kann entweder durch Verwendung einer Einbettmasse wie Deguvest - HFG oder durch Einbettung mit hygroskopischer Technik erfolgen (DREYER - JOERGENSEN (9)).

Tabelle 1

Stumpf Ia - Kronen nicht hohlgelegt
Konzentration der Anmischflüssigkeit 75 %
Messwerte in µm

Messpunkte	Kronen - Nr. 1	2	3	4	5
1	291	342	345	262	314
2	296	348	338	269	310
3	304	322	342	270	311
4	325	328	332	251	303
5	314	349	357	254	294
6	327	337	366	267	292
7	308	327	356	271	304
8	314	332	341	258	290
9	324	331	353	278	296
10	302	342	359	274	302
Mittlere Spaltbreite	310,5	336	344,9	265,4	3o1,6

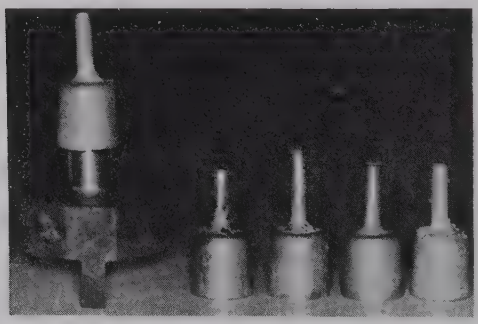


Abb. 22

Tabelle 2

Stumpf Ia - Kronen nicht hohlgelegt
Konzentration der Anmischflüssigkeit 100 %
Messwerte in µm

Messpunkte	Kronen - Nr. 1	2	3	4	5
1	16	95	94	42	59
2	17	86	109	34	60
3	15	86	113	36	39
4	14	83	105	33	32
5	19	90	118	38	40
6	24	117	106	26	64
7	9	101	107	24	58
8	14	101	111	29	53
9	5	108	115	26	48
10	10	106	112	45	55
Mittlere Spaltbreite	14,3	97,3	109	33,3	50,8

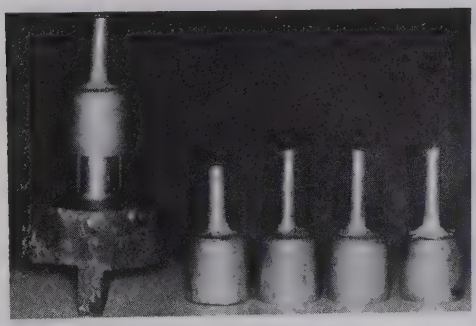


Abb. 23

Tabelle 3

Stumpf Ib - Kronen hohlgelegt
Konzentration der Anmischflüssigkeit 50 %
Messwerte in µm

Messpunkte	Kronen - Nr. 1	2	3	4	5
1	28	27	24	30	14
2	26	24	21	28	16
3	32	22	25	26	20
4	44	19	14	24	21
5	35	14	20	25	19
6	27	21	17	22	29
7	33	16	20	27	26
8	34	25	18	18	22
9	39	22	23	19	23
10	31	26	21	22	18
Mittlere Spaltbreite	32,9	21,6	20,3	24,1	20,8

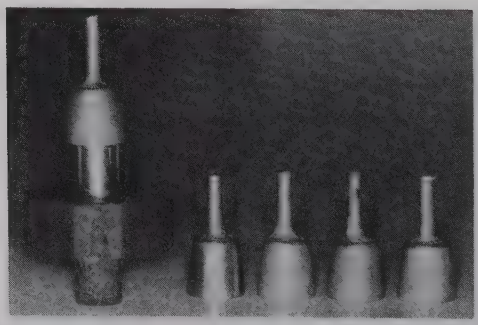


Abb. 24

Tabelle 4

Stumpf IIa - Kronen nicht hohlgelegt
Konzentration der Anmischflüssigkeit 75 %
Messwerte in µm

Messpunkte	Kronen - Nr. 1	2	3	4	5
1	322	45	16	83	165
2	321	66	22	117	151
3	297	37	18	93	156
4	291	55	15	108	167
5	308	37	27	96	173
6	324	50	32	126	165
7	304	42	26	99	145
8	299	29	18	121	156
9	325	45	11	100	149
10	324	49	15	103	155
Mittlere Spaltbreite	311,5	45,5	20,0	104,6	158,2

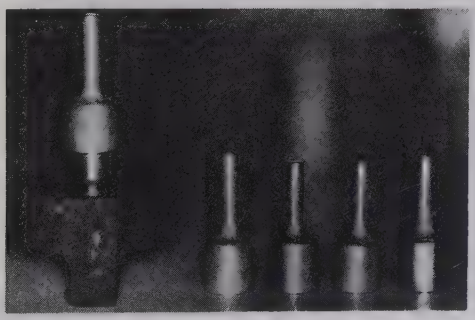


Abb. 25

Tabelle 5

Stumpf IIa - Kronen nicht hohlgelegt
Konzentration der Anmischflüssigkeit 100 %
Messwerte in µm

Messpunkte	Kronen - Nr. 1	2	3	4	5
1	46	61	13	124	18
2	49	60	29	151	24
3	53	54	14	147	20
4	38	58	18	156	13
5	43	62	14	156	35
6	51	52	11	158	28
7	55	73	17	146	22
8	36	64	32	140	29
9	37	66	14	148	17
10	45	56	12	136	25
Mittlere Spaltbreite	45,3	60,6	17,4	146,2	25,1

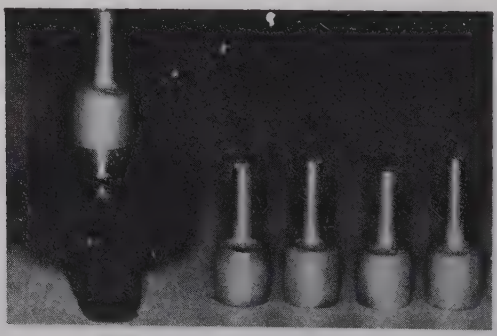


Abb. 26

Tabelle 6

Stumpf IIb - Kronen hohlgelegt
Konzentration der Anmischflüssigkeit 50 %
Messwerte in µm

Messpunkte	Kronen - Nr. 1	2	3	4	5
1	10	5	23	3	5
2	15	8	8	6	8
3	9	12	9	4	12
4	8	9	14	9	7
5	7	6	18	5	14
6	8	10	18	8	9
7	8	4	10	7	6
8	6	7	16	4	8
9	9	5	13	5	11
10	5	8	19	3	10
Mittlere Spaltbreite	8,5	7,4	14,8	5,4	9,0

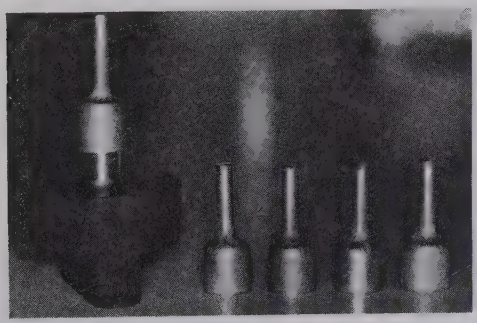


Abb. 27

Tabelle 7

Stumpf IIb - Kronen hohlgelegt
Konzentration der Anmischflüssigkeit 25 %
Messwerte in µm

Messpunkte	Kronen - Nr. 1	2	3	4	5
1	25	7	2	13	9
2	5	24	7	22	11
3	15	18	3	17	7
4	12	24	25	14	9
5	22	15	10	14	11
6	13	4	7	13	11
7	8	12	4	8	8
8	5	10	6	12	9
9	14	7	4	11	6
10	12	11	5	10	9
Mittlere Spaltbreite	13,1	13,2	7,3	13,4	9,0

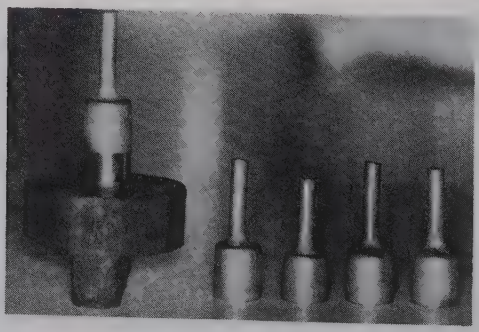
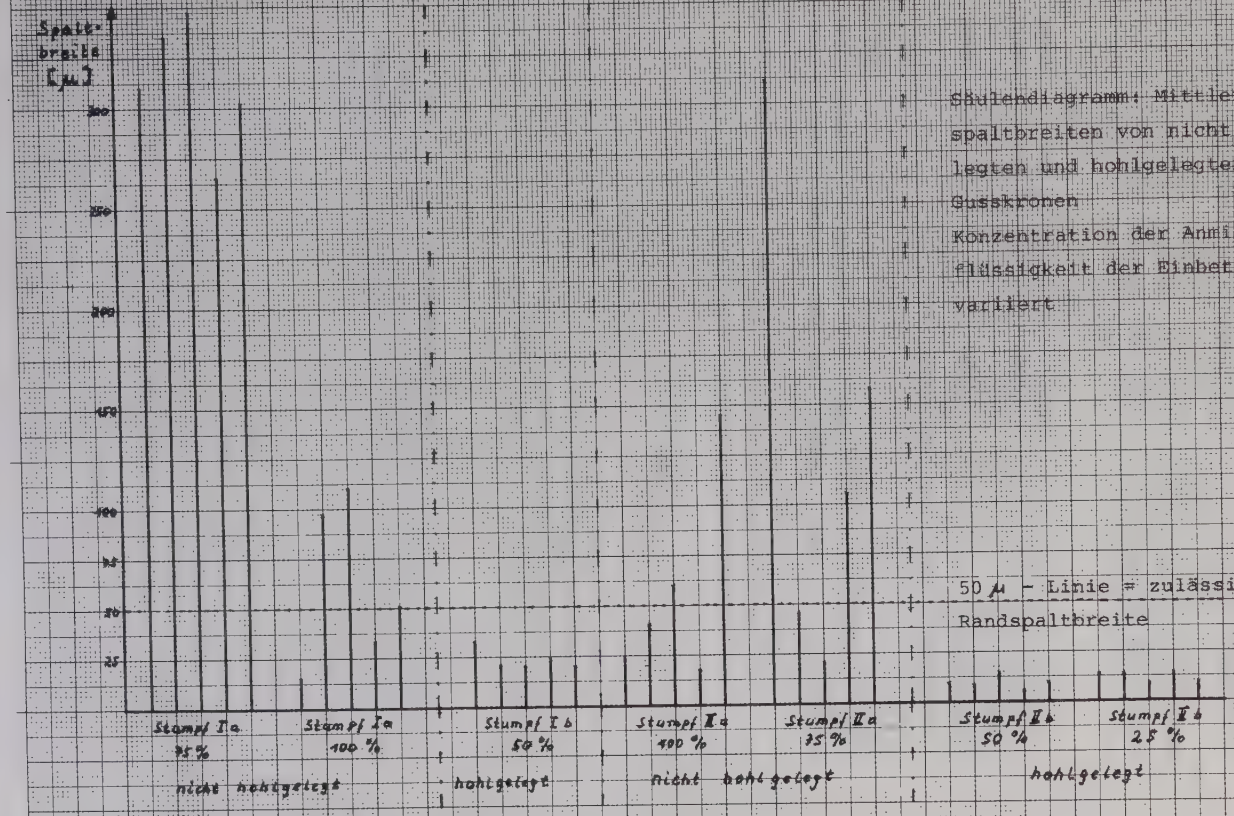


Abb. 28



Säulendiagramm: Mittlere Randspaltbreiten von nicht hohlgelegten und hohlgelegten Gusskronen
Konzentration der Anmischflüssigkeit der Einbettmasse variiert

50 µ – Linie = zulässige max. Randspaltbreite

Abb. 14

Tabelle 8

Mittlere Haftkraft der Gusskronen

Messwerte in kp

Stumpf	Ia	Ia	Ib	IIa	IIa	IIb	IIb
Konzentration der Anmisch-flüssigkeit	75 %	100 %	50 %	75 %	100 %	50 %	25 %
Mittlere Haftkraft	1,6	1,3	1,7	1,0	1,1	0,4	1,0
hohlgelegt	nein	nein	ja	nein	nein	ja	ja

D. Z U S A M M E N F A S S U N G

Jüngere statistische Nachuntersuchungen von Gusskronen lassen die Notwendigkeit nach einer Verbesserung des Randschlusses erkennen, da eine fehlerhafte Kronengestaltung zu schwerwiegenden Folgen für Zahn, Gingiva und Parodontium führen kann.

In dieser Arbeit wird ein Weg der Kronenherstellung beschrieben, bei dem gleichmässig gute Ergebnisse auftreten. Die theoretische Berechnung der Haftkraft und der beim Aufsetzen der Krone auf den Stumpf möglichen elastischen und unelastischen Verformung bei Verwendung von Degulor M lässt die Möglichkeit erkennen, Gussungenauigkeiten durch ein Hohllegen der Krone im randfernen Teil auszugleichen.

Rauhigkeiten, die beim Beschleifen von Zahnstümpfen auftreten und am Gussobjekt teilweise verändert wiedergegeben werden, erfahren durch die Aufsetzkraft eine elastische oder unelastische Deformation, die sich jedoch auf kleine Bezirke der Kronenwand beschränkt und zu keiner grösseren Verformung oder Dehnung der gesamten Krone führt.

Durch das Hohllegen ist es daher möglich, eine klinische Ungenauigkeit von etwa 50 µm auszugleichen.

Diese theoretische Vorhersage wird an Hand von experimentellen Untersuchungen bestätigt. Die Methode der Hohllegung einer Gusskrone unter Verwendung einer Einbettmasse mit steuerbarer Gesamtexpansion zeigt gleichmässige gute Ergebnisse bei der optischen Vermessung des Randspaltes.

Damit ist eine Möglichkeit gegeben, die von DREYER - JOERGENSEN und anderen Autoren gestellte Forderung nach einer Spaltbreite unter 50 µm auf breiter Basis in der zahnärztlichen Gusstechnik in die Wirklichkeit umzusetzen.

E. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

1. BERGMANN, L. und SCHAEFER, Cl. — Lehrbuch der Experimentalphysik Band I Verlag Walter de Gruyter & Co, Berlin

2. BOLOURI, A. und MARXKORS, R. — Experimentelle Untersuchungen über die Veränderung der Rauhtiefe des Urmodells bei der Anfertigung eines Gussstückes Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 1023 (1969)

3. BONSACK, Ch. — Der heutige Stand des Gussproblems Dtsch. zahnärztl. Z. 8, 5 (1953)

4. BORNEMANN, W. — Untersuchungen über die Randdichte von Band- und Gusskronen aus Metall nach der Blasendruckmethode Med. Diss. Marburg 1955

5. BUETTNER, M. — Die Unterschiede der Haftfestigkeit des Befestigungszementes am Schmelz, Dentin und Metall Med. Diss. Marburg 1955

6. CHRISTENSEN, G.J. — Fortschritte in Klinik und Forschung bei Gussfüllungen J. prosth. Dent. 25, 62 (1971)

7. DEGUSSA-BRIEF 42 — Das Degussa - Präzisionsguss - System Degussa GB Dental und Goldhalbzeug, Frankfurt

8. DEMMEL, H.-J. — Der Einfluss verschiedener Zementsorten auf den Randschluss passgenauer Kronen Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 700 (1971)

9. DREYER-JOERGENSEN,K. — Praktische Anleitungen in odontologischer Technologie für Klinik und Laboratorium Quintess. zahnärztl. Lit. 18, Ref. 3036 (1967)

10. DREYER-JOERGENSEN,K. — Prüfungsergebnisse zahnärztlicher Gussverfahren Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 461 (1958)

11. EGLI, A.R. — Die Lage des Kronenrandes und parodontale Hygiene
Parodontologie 11, 27 (1957)

12. EICHNER, K. und VOSS, R. — Der Kronenrand - Diskussion nach einer Tonbandaufzeichnung überarbeitet und auf die wesentlichen Gedankengänge gekürzt
Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 742 (1971)

13. EICHNER, K. — Der Kronenrand und das marginale Parodontium aus klinischer Sicht
Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 741 (1969)

14. EICHNER, K. — Leitfaden zahnärztl. Werkstoffe und ihrer Verarbeitung
Berlinische Verlagsanstalt, Berlin

15. EICHNER, K. — Messung der Kräfte bei Kauvorgängen
Dtsch. zahnärztl. Z. 18, 915 (1963)

16. EINFELDT, H. — Passgenauigkeit gegossener Metallarbeiten
Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 1087 (1969)

17. EISELIN, U. — Ueber die Retentionsfähigkeit einiger Brückenanker
Med. Diss. Zürich 1952

18. FROEHLICH, E. — Zahnfleischrand und künstliche Krone in pathologisch - anatomischer Sicht
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1252 (1967)

19. FUCHS, W.B. und MAYER, R. — Untersuchungen über die Abschlussdichte einzementierter Gussfüllungen mit unterschiedlicher Präparation der Kavitäten - Rand - Zone
Dtsch. zahnärztl. Z. 25, 757 (1970)

20. FUHR, K., KARES, K. und SIEBERT, G. — Nachuntersuchungen festsitzenden Ersatzes
Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 716 (1971)

21. GROPP, H.P. und SCHWINDLING, R.
Statistische Feststellungen über fehlerhafte Kronengestaltung mit Folgen auf Zahn, Parodont und Gingiva
Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 734 (1971)

22. HATTEMER, W.N.
Physikalisch - chemische Eigenschaften der neueren Füllungsmaterialien und Güte der Füllung
Zahnärztl. Welt 58, 242 (1957)

23. HUETTNER, G.
Nachuntersuchungen von Kronen und Brückenzahnersatz in bezug auf den Kronenrand und das marginale Parodontium
Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 724 (1971)

24. JANKE, G.
Ein neues laborgerechtes Verfahren für den Präzisionsguss von Edelmetallen
Dtsch. Zahnärztebl. 20, 413 (1966)

25. JANKE, G.
Zur Frage der Filmdicke von Befestigungszementen
Dtsch. zahnärztl. Z. 25, 1061 (1970)

26. JUNG, T. und QUAST, U.
Das Gussgefüge am Kronenrand
Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 785 (1971)

27. KNAPP, J.
Ueber die Abhängigkeit der Passgenauigkeit gegossener Kronenringe von den vorgegebenen Massen
Med. Diss. Marburg 1969

28. KNAPPWOST, A.
Ueber die Zersetzung und Zersetzungshemmung der Phosphatzemente im Bereich der Mundhöhle
Dtsch. zahnärztl. Z. 18, 1022 (1950)

29. KNAPPWOST, A.
Kapillare Spaltbildung unserer plastischen Füllungsmaterialien als Ursache der hohen Sekundärkariesfrequenz
Dtsch. zahnärztl. Z. 6, 602 (1951)

30. KOERBER, E. — Nachuntersuchungen an Hülsenkronen
Dtsch. zahnärztl. Z. 27, 521 (1972)

31. KOERBER, E. und LEHMANN, K. — Vergleichende Untersuchungen bei Abdruckmaterialien für Kronen und Brücken
Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 791 (1969)

32. KOERBER, K.H. und LENZ, P. — Beitrag zum Problem der Randgestaltung von Ersatzkronen
Zahnärztl. Welt 69, 440 (1968)

33. KOERBER, K.H. — Konuskronen - Teleskope
Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg 1969

34. KOERBER, K.H. — Konuskronen - ein physikalisch definiertes Teleskopsystem
Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 619 (1968)

35. KRAFT, E. — Die Gestaltung des Kronenrandes
Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 750 (1969)

36. LUSTIG, L.P., PERLITSCH, M.J., PRZETAK, Ch. und MUCKO, K. — Ein rationelles System der Kronenpräparation
Quintess. zahnärztl. Lit. 23, 57 (1972)

37. MARXKORS, R. — Das Beschleifen von Zähnen für Vollgusskronen
Zahnärztl. Welt 81, 1063 (1972)

38. PLISCHKA, G. — Präparation des Zahnstumpfes für Vollgusskronen mit oder ohne Stufe
Dtsch. zahnärztl. Z. 16, 1082 (1961)

39. REHBERG, H.J. — Exakter Randschluss - was ist das?
Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 696 (1971)

40. REHBERG, H.J. — Die Quintessenz der zahnärztlichen Abformmittel
Verlag „ Die Quintessenz ", Berlin 1971

41. SCHMEISSNER, H. Die Quintessenz der Einzelkrone
Verlag „ Die Quintessenz ",
Berlin 1972

42. SCHMEISSNER, H. Ueber die Metall - Vollkrone
Dtsch. Zahnärztebl. 19, 304
(1965)

43. VEST, G. Lehrbuch der zahnärztlichen
Kronen- und Brückenprothetik
Birkhäuser Verlag, Basel 1960

44. VOSS, R. Rationalisierung der Ueber-
kronung von Zähnen
Dtsch. zahnärztl. Z. 21, 454
(1966)

45. VOSS, R. Band- oder Gusskronen?
Indikationen und Grenzen in
der zahnärztlichen Praxis
Dtsch. Zahnärztebl. 20, 506
(1966)

46. VOSS, R. Klinische und werkstoffkund-
liche Gesichtspunkte zur Frage
der Band- oder Gusskrone
Zahnärztl. Prax. 18, 101 (1967)

47. WAERHAUG, J. Periodontology and partial
denture
Int. dent. J. 18, 101 (1968)

48. WEIKART, P. Grenzen und Prüfung der Guss-
genauigkeit
Dtsch. zahnärztl. Z. 12, 897
(1957)

49. WEIKART, P. Werkstoffkunde für Zahnärzte
Carl Hauser Verlag, München 1966

50. YUEZBARIOGLU, H. Nachuntersuchungen von Brücken-
ersatz
Med. Diss. Bonn 1962

51. ZAEHRINGER, W. Guss- und Angusskronen
Untersuchungen über die Pass-
genauigkeit in Abhängigkeit
vom Präparationswinkel
Med. Diss. München 1963

Mein besonderer Dank gilt meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Georg Janke, für die Ueberlassung des Themas, für ständige Anregung und Unterstützung bei der vorliegenden Arbeit und für die Durchsicht des Manuskripts.

Herrn Professor Dr. Matthias Elbel vom Physikalischen Institut der Philipps - Universität Marburg danke ich für die anregenden Diskussionen der physikalischen Probleme.

Der Firma Degussa GB Dental Frankfurt danke ich für die freundliche Bereitstellung des bei der Durchführung der Arbeit erforderlichen Edelmetalls.

Besonders danke ich Herrn Dr. Ewald Wagner, Leiter des Metall - Laboratoriums der Firma Degussa Pforzheim, und seinen Mitarbeitern für die freundlichen Anregungen und die zur Verfügungstellung einer Zerreissmaschine.

L e b e n s l a u f

Am 23. August 1942 wurde ich als zweiter Sohn des Kaufmanns Richard Bretthauer und seiner Ehefrau Else, geb. Kaufmann, in Kassel geboren.

Von 1949 bis 1953 besuchte ich die Volksschule in Kassel, ab 1953 ebenfalls in Kassel die Albert - Schweitzer - Schule, Gymnasium für Jungen, an der ich 1962 meine Reifeprüfung ablegte.

1962 nahm ich mein Studium der Physik an der Philipps-Universität in Marburg auf, legte 1965 dort meine Vordiplomprüfung und 1968 meine Diplomprüfung ab.

Neben der Abfassung meiner Diplomarbeit begann ich im Sommer 1968 mit dem Studium der Zahnheilkunde in Marburg. Im Herbst 1968 bestand ich die naturwissenschaftliche Vorprüfung und nach drei weiteren vorklinischen Semestern im Frühjahr 1970 die zahnärztliche Vorprüfung. Am 1. Dezember 1972 legte ich nach einem Studium von fünf klinischen Semestern das zahnärztliche Staatsexamen ab.

Meine akademischen Lehrer waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten an der Philipps - Universität in Marburg:

Physik:

Christian, Dimroth, Grawert, Grossmann, Heil, Kamke, Kuhn, Ludwig, Madelung, Mahr, Mann, Peyerimhoff, Pfeil, Riechert, Suchy, Walcher, Wirsing, Wolter.

Zahnheilkunde:

Amon, Bommer, Engelhardt, Haan, Hennis, Hering, Heuser, Hort, Hupe, Janke, Karlson, Keil, Koch, Koecke, Korb, Kühnel, Lehmann - Grube, Niemeyer, Pantke, Petry, Pfütz, Riecken, Rohen, Rosemann, Salfeld, H.F.M. Schmidt, Schnell, Seidel, Siegert.